

4/PRTS

09/914208
JC05 Rec'd PCT/PTO 23 AUG 2001

Verfahren zum Betreiben eines Sensors zur Bestimmung
der Konzentration oxidierender Gase in Gasgemischen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Sensors zur Bestimmung der Konzentration oxidierender Gase, insbesondere zur Bestimmung der Stickoxid-Konzentration in Abgasen von Verbrennungskraftmaschinen, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

Ein solcher Sensor geht beispielsweise aus der EP 0 791 826 A1 hervor.

Aufgrund des Umstands, dass alle Elektroden eines solchen Sensors leitend mit dem Feststoffelektrolyten verbunden sind und die Isolationsschicht des Heizers einen endlichen Widerstand aufweist, dass folglich sämtliche Elektroden über elektrisch leitende Strukturen miteinander und hochohmig mit dem Heizer verbunden sind, ent-

stehen elektrische Felder und elektrische Ströme zwischen den einzelnen Elektroden und zwischen den Elektroden und dem Heizer, welche das Messergebnis verfälschen.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen bietet demgegenüber den Vorteil, dass die durch die gegenseitigen Kopplungen der Elektroden über elektrische Felder und Ströme im Feststoffelektrolyten sowie die durch die Spannungsabfälle an den Zuleitungswiderständen entstehenden Messfehler durch aktive Kompensierung beseitigt oder zumindest minimiert werden können. Durch Veränderung der an den Elektroden funktionsgemäß anliegenden Spannungen in Abhängigkeit von den in den Elektrodenzuleitungen und/oder zwischen den Elektroden fliessenden Strömen so, dass die an den Elektroden im Innern des Sensors anliegenden Spannungen den vorgegebenen Sollwerten entsprechen, ist es möglich, die Spannungen an den Elektroden präzise einzustellen, ohne dass Fehler durch Spannungsabfälle an den Elektrodenzuleitungen oder aufgrund einer gegenseitigen Kopplung der Elektroden verfälscht werden. Besonders vorteilhaft dabei ist, dass die Einstellung unabhängig von der Stromstärke ist, mit der die einzelnen Elektroden beaufschlagt werden.

Eine vorteilhafte Ausführungsform sieht dabei vor, dass man zu den an den Elektroden liegenden Spannungen Spannungen addiert, die einer mit Faktoren gewichteten

Rückkopplung von Spannungsanteilen entsprechen, die den Strömen proportional sind. Darüber hinaus können die mittels an sich bekannter elektrischer Schaltungsglieder gebildeten gleitenden Mittelwerte der den Strömen proportionalen Spannungen und/oder deren Ableitung auch höheren Grades und/oder auch deren gleitende Mittelwerte oder Linearkombinationen daraus rückgekoppelt werden. Auf diese Weise ist es auch möglich, kapazitive Kopplungen zu eliminieren.

Die Einstellung der Spannung an den Elektroden geschieht in diesem Falle vorteilhaftweise durch Veränderung dieser Faktoren, wobei man diese Faktoren solange erhöht, bis aufgrund der Rückkopplung das System zu schwingen beginnt. Die Schwingung entsteht dann, wenn der Rückkoppelfaktor betragsmäßig ≥ 1 ist und gleichzeitig die Phase größer oder gleich 180° beträgt. Sodann werden die Faktoren geringfügig verkleinert, und zwar nur soweit, dass gerade keine Schwingung mehr entsteht. Hierdurch können nahezu die gesamten an den Elektrodenzuleitungen entstehenden Spannungsabfälle wie auch die aufgrund eines fiktiven Widerstandsnetzwerks innerhalb des Feststoffelektrolyten entstehenden Spannungsabfälle kompensiert werden.

Zeichnung

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung eines Ausführungsbeispiels der Erfindung.

In der Zeichnung zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Schnittdarstellung durch einen aus dem Stand der Technik bekannten Sensor zur Bestimmung von Oxiden in Gasgemischen;
- Fig. 2 schematisch eine aus dem Stand der Technik bekannte Schaltungsordnung für einen in Fig. 1 dargestellten Sensor;
- Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel einer zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens geeigneten Schaltungsanordnung für einen in Fig. 1 dargestellten Sensor und
- Fig. 4 schematisch die Kopplung der an den Elektroden eines in Fig. 1 dargestellten Sensors anliegenden Spannungen/Ströme in Matrixform.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Ein NO_x-Doppelkammersensor, dargestellt in Fig. 1, weist fünf Elektroden auf, eine dem Abgas ausgesetzte Sauerstoffpumpelektrode 9, eine in einer ersten Kammer 1 angeordnete, der dem Abgas ausgesetzten Sauerstoffpumpelektrode 9 im wesentlichen gegenüberliegende Sauerstoffpumpelektrode 7, eine in einer zweiten Kammer 2 angeordnete Sauerstoffpumpelektrode 8, eine ebenfalls in der zweiten Kammer 2 angeordnete NO-Pumpelektrode 10 sowie eine in einer dritten Kammer 3 angeordnete Luftreferenzelektrode 6.

Die erste Kammer 1 ist über eine Diffusionsbarriere 4 mit dem Abgas verbunden, die zweite Kammer 2 ist mit der ersten über eine weitere Diffusionsbarriere 5 verbunden.

Die dritte Kammer 3 ist mit der Atmosphäre über einen Kanal verbunden.

Die Sauerstoffpumpelektroden 7 und 8 pumpen aus der ersten Kammer 1 bzw. aus der zweiten Kammer 2 Sauerstoff ab. Als Gegenelektrode dient die äussere Pumpelektrode 9.

Stickoxide werden von der NO-Pumpelektrode 10 abgepumpt. Sämtliche Elektroden sind dabei auf einem ionenleitenden Feststoffelektrolyten 20 angeordnet, der beispielsweise aus Zirkonoxid bestehen kann, und mit diesem elektrisch leitend verbunden.

Ein isolierter Heizer 11 ist vorgesehen, um den Sensor auf die nötige Betriebstemperatur aufzuheizen.

Zum Betrieb des Sensors dient eine Auswerteschaltung, die verschiedene elektrische Spannungen bereitstellt und das Messsignal aus einer Strommessung gewinnt. Ein Blockschaltbild einer solchen aus dem Stand der Technik bekannten Schaltung ist in Fig. 2 schematisch dargestellt. Die drei Spannungen für die in der ersten Kammer 1 und der zweiten Kammer 2 liegenden Sauerstoffpumpelektroden 7, 8 sowie für die NO-Pumpelektrode 10 werden über Spannungsreferenzen 31, 32, 33 und Treiber

41, 42, 43 generiert und um das Potential der Luftreferenz verschoben. Hierzu wird die von dem Treiber 40 ausgegebene Spannung zu der von den Treibern 41, 42, 43 ausgegebenen Spannung in Addiergliedern 61, 62, 63 auf an sich bekannte Weise addiert bzw. subtrahiert. Das Potential der äusseren Pumpelektrode 9 wird dabei über einen Zweipunktregler 50 eingestellt, so lange bis die Spannungsdifferenz zwischen der Sauerstoffpumpelektrode 7 und der Luftreferenzelektrode 6 einem vorgebbaren Sollwert entspricht. Die anderen Elektrodenpotentiale werden direkt eingestellt. Der NO-Pumpstrom kann über einen an sich bekannten Stromspannungswandler 80 gemessen und als Messsignal ausgegeben werden.

Da nun alle Elektroden leitend mit dem Feststoffelektrolyten 20 verbunden sind und die Isolationsschicht des Heizers 11 einen endlichen Widerstand aufweist, sind sämtliche Elektroden über ein Leitwertnetzwerk miteinander und hochohmig mit dem Heizer 11 verbunden. Die zahlenmäßig größten Leitwerte sind in Fig. 1 schematisch durch Widerstände R_E dargestellt. Ebenso sind Zuführungsleitwerte der Leiterbahnen zu den Elektroden vorhanden, die ebenfalls schematisch in Fig. 1 durch Widerstände R_L dargestellt sind.

Grundidee der Erfindung ist es nun, die Einstellung der erforderlichen Spannungen direkt an den Elektroden zu ermöglichen, ohne dass der Spannungsabfall an den Zuleitungswiderständen R_L oder die gegenseitige Kopplung der Elektroden über die Widerstände R_E diese Elektrodenspannungen verfälschen.

Dies wird durch ein Verfahren zum Betrieben eines Sensors gelöst, welches nachfolgend in Verbindung mit einer in Fig. 3 dargestellten Schaltung erläutert wird. Bei der in Fig. 3 dargestellten Schaltung sind diejenigen Elemente, die mit denen der in Fig. 2 dargestellten Schaltung identisch sind, mit denselben Bezugszeichen versehen sind, so dass bezüglich deren Beschreibung auf die Ausführungen zu der in Fig. 2 dargestellten Schaltung voll inhaltlich Bezug genommen wird. Die in Fig. 3 dargestellte Schaltung unterscheidet sich von der in Fig. 2 dadurch, dass Schaltungseinrichtungen vorgesehen sind, durch welche die an den Elektroden 7, 8, 10, 9 anliegenden Spannungen U_{IPE} , U_{NO} , U_{O2} in Abhängigkeit von den in den Messleitungen und/oder zwischen den Elektroden fließenden Strömen veränderbar sind. Diese Schaltungseinrichtungen umfassen Stromspannungswandler 100, 110, 120 und Schaltungselemente (Kompensationszweige) 201, 202, 203, 204, 205, 206, die mit Kompensationsfaktoren K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5 , K_6 gewichtet werden, derart, dass ein den Strömen proportionaler Anteil so auf die Elektroden rückgekoppelt wird, dass die im Festelektrolyten 20 übergekoppelten Anteile und die Zuleitungsverluste kompensiert werden. Durch eine derartige Rückkopplung werden die an den Zuleitungen messbaren Potentiale der Elektroden abhängig von den Strömen im Festelektrolyten 20 und den Zuleitungen. Die Ströme im Festelektrolyten 20 sind einer Messung zwar nicht zugänglich, ergeben sich aber an jedem Ort aus einer Linearkombination der Ströme in den Zuleitungen. Das Gesamtsystem wird dabei als elektrisch linear betrach-

tet. Aufgrund der Linearkombination der Ströme an jedem Ort erhält man auch an den Orten der Elektroden Spannungen, die linear von den Zuleitungsströmen abhängen. Die Rückkopplung erfolgt dabei so, dass man zunächst den Faktor K_1 schrittweise erhöht, bis es zu einer Schwingung aufgrund der Rückkopplung kommt. Sodann wird Faktor K_1 wieder geringfügig verringert, bis gerade keine Schwingung mehr auftritt. Entsprechend kann - sofern noch erforderlich - mit den weiteren Faktoren K_2 bis K_6 verfahren werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass man praktisch sämtliche störenden Einflüsse aufgrund der Elektrodenzuleitungen genauso wie auch aufgrund der in dem Festelektrolyten 20 vorhandenen und störenden Widerstände zwischen den Elektroden eliminiert. Zusätzlich können die mittels elektrischer Schaltungsglieder gebildeten gleitenden Mittelwerte der den Strömen proportionalen Spannungen und/oder deren Ableitungen auch höheren Grades und/oder auch deren gleitende Mittelwerte oder Linearkombinationen daraus rückgekoppelt werden. Dadurch können nicht nur ohmsche, sondern auch kapazitive Kopplungen eliminiert werden.

Fig. 4 zeigt schematisch die Kopplungsmatrix. Die Zeilen werden durch die Ströme der Elektroden $I_{\text{Pumpelektrode 7}}$, $I_{\text{O}_2\text{-Pumpelektrode 8}}$ und $I_{\text{NO-Pumpelektrode 10}}$ gebildet. Der Strom der inneren Sauerstoffpumpelektrode $I_{\text{Pumpelektrode 7}}$ ist gegenüber den anderen beiden relativ groß und hat deshalb merklichen Einfluss auf die Elektrodenspannungen U_{IPE} oder an der Pumpelektrode 7, U_{O_2} an der Pumpelektrode 8 und U_{NO} an der Pumpelektrode 10. Die räumliche Nähe der Sauer-

stoffpumpelektrode 8 und der NO-Pumpelektrode 10 zueinander in der zweiten Kammer 2 führt zu einer ausgeprägten Kopplung. Die Besetzung der Hauptdiagonale der Kopplungsmatrix ergibt sich aus den Zuleitungswiderständen. Da die Matrix symmetrisch ist, genügt es, lediglich die auf einer Seite der Hauptdiagonale angeordneten Kompensationsfaktoren K_2 , K_3 , K_5 und K_1 , K_4 , K_6 zu betrachten.

Method for Operating a Sensor for Determining the Concentration
of Oxidizing Gases in Gas Mixtures

Field of the Invention

The invention relates to a method for operating a sensor for
 5 determining the concentration of oxidizing gases, especially for
 determining the nitrogen oxide concentration in exhaust gases of
 internal combustion engines in accordance with the preamble of
 claim 1.

Background of the Invention
State of the Art

10 Such a sensor is presented, for example, in EP 0 791 826 A1.

Electrical fields and electrical currents arise between the
 individual electrodes and between the electrodes and the heater
 which cause the measuring result to be incorrect. This occurs
 because all electrodes of such a sensor are conductively
 15 connected to the solid state electrolyte and the insulation layer
 of the heater has a finite resistance and, accordingly, all
 electrodes are connected to each other via electrically
 conductive structures and are connected at high resistance to the
 heater.

20 SUMMARY OF THE Invention
Advantages of the Invention

The method of the invention having the features set forth in
 claim 1, in contrast, offers the advantage that the measuring
 errors can be eliminated by active compensation or at least can
 be minimized. The measurement errors arise because of the mutual
 25 coupling of the electrodes via electrical fields and currents in
 the solid state electrolyte as well as by the voltage drops
 across the feed line resistances. It is possible to precisely
 adjust the voltages on the electrodes without errors being made
 incorrect by voltage drops on the electrode feed lines or because
 30 of a mutual coupling of electrodes. This is made possible by

sub A1)

T00ETT" 80247660

changing the voltages, which are applied to the electrodes in accordance with function, in dependence upon the currents which flow in the electrode feed lines and/or between the electrodes. It is especially advantageous that the adjustment is independent of the current intensity with which the individual electrodes are charged.

An advantageous embodiment provides that one adds voltages to the voltages applied to the electrodes. The voltages added correspond to a feedback of voltage components weighted with factors and these voltage components are proportional to the currents. Furthermore, the sliding mean values of the voltages and/or their derivation of higher order and/or their sliding mean values or linear combinations thereof can be fed back. These voltages are proportional to the currents and the mean values are formed by means of known electric circuit elements. In this way, it is also possible to eliminate capacitive couplings.

The adjustment of the voltage on the electrodes takes place in this case advantageously by changing these factors. These factors are increased until the system starts to oscillate because of the feedback. The oscillation arises when the feedback factor is ≥ 1 in magnitude and, at the same time, the phase is greater or equal to 180° . Then, the factors are reduced slightly but only so far that just no oscillation occurs anymore. In this way, almost all voltage drops, which arise at the electrode feed lines, as well as the voltage drops which arise because of a fictive resistance network within the solid state electrolytes, can be compensated.

Drawing

Brief Description of the Drawings

Further advantages and features of the invention are the subject matter of the following description as well as the

schematic representation of an embodiment of the invention.

The drawings show:

FIG. 1 is a schematic section view through a sensor, which is known from the state of the art, for determining oxides in gas mixtures;

FIG. 2 shows schematically a circuit arrangement, which is known from the state of the art, for a sensor shown in FIG. 1;

FIG. 3 is an embodiment of a circuit arrangement for a sensor shown in FIG. 1 which is suitable for carrying out the method of the invention; and,

FIG. 4 schematically shows the coupling of the voltages/currents in matrix form which lie across the electrodes of a sensor shown in FIG. 1.

Description of the Embodiments of the Invention

An NO_x double chamber sensor is shown in FIG. 1 and includes five electrodes, namely: an oxygen pump electrode 9 subjected to the exhaust gas; an oxygen pump electrode 7 mounted in a first chamber and essentially lying opposite to the oxygen pump electrode 9 subjected to the exhaust gas; an oxygen pump electrode 8 arranged in a second chamber 2; and NO pump electrode 10 mounted likewise in the second chamber 2; and, an air reference electrode 6 mounted in a third chamber 3.

The first chamber 1 is connected via a diffusion barrier 4 to the exhaust gas, the second chamber 2 is connected to the first chamber via a further diffusion barrier 5.

The third chamber 3 is connected to the atmosphere via a channel.

The oxygen pump electrodes 7 and 8 pump oxygen away from the first chamber 1 or from the second chamber 2. The external pump electrode 9 functions as a counter electrode.

COEFFICIENT 660

Nitrogen oxides are pumped away by the NO pump electrode 10. All electrodes are arranged on an ion-conducting solid state electrolyte 20 which, for example, can be made of zirconium oxide and are electrically conductively connected therewith.

5 An insulated heater 11 is provided in order to heat up the sensor to the necessary operating temperature.

 An evaluation circuit functions to operate the sensor and this circuit makes various electrical voltages available and obtains the measurement signal from a current measurement. A
10 block circuit diagram of such a circuit, which is known from the state of the art, is shown schematically in FIG. 2. The three voltages for the oxygen pump electrodes (7, 8) as well as for the NO pump electrode 10 are generated by voltage
15 references 31, 32, 33 and drivers 41, 42, 43 and are shifted by the potential of the air reference. The oxygen pump
 electrodes 7, 8 lie in the first chamber 1 and in the second chamber 2. For the above, the voltage, which is outputted by the driver 40, is added to or subtracted from the voltage outputted
20 by drivers 41, 42, 43 in adding elements 61, 62, 63 in a manner known per se. The potential of the outer pump electrode 9 is
 adjusted via a two-point controller 50 until the voltage difference between the oxygen pump electrode 7 and the air
 reference electrode 6 corresponds to a pregivable desired value. The other electrode potentials are adjusted directly. The NO
25 pump current can be measured via a current-voltage converter 80 known per se and be outputted as a measurement signal.

 All electrodes are conductively connected to the solid state electrolyte 20 and the insulation layer of the heater 11 has a finite resistance. For this reason, all electrodes are connected
30 to each other via a conductance network and are connected at high

ohmage to the heater 11. The numerically largest conductances are shown in FIG. 1 schematically by the resistances R_E .

Likewise, feed conductances of the conductive paths to the electrodes are present which are likewise shown schematically in FIG. 1 by resistances R_L .

The basic idea of the invention is to make possible the adjustment of the required voltages directly at the electrodes without the voltage drop across the feed line resistors R_L or the mutual coupling of the electrodes via the resistances R_E making these electrode voltages incorrect.

This is solved by a method for operating a sensor which is explained in combination with a circuit shown in FIG. 3. In the circuit shown in FIG. 3, those elements which are identical to those in the circuit shown in FIG. 2 have the same reference numerals so that, with reference to their description, reference is made to the presentation made to the circuit shown in FIG. 2. The circuit shown in FIG. 3 differs from the circuit shown in FIG. 2 in that circuit arrangements are provided by which the voltages U_{IPE} , U_{NO} , U_{O2} , which are applied to the electrodes 7, 8, 10, 9, are changeable in dependence upon the currents flowing in the measurement lines and/or between the electrodes. These circuit arrangements include current/voltage converters 100, 110, 120 and circuit elements (compensation branches) 201, 202, 203, 204, 205, 206 which are weighted with compensation factors K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5 , K_6 in such a manner that a component, which is proportional to the currents, is so fed back to the electrodes that the components, which are coupled in via the solid state electrolyte 20, and the feed losses are compensated. With a feedback of this kind, the potentials of the electrodes, which can be measured on the feed lines, are

dependent upon the currents in the solid state electrolyte 20 and in the feed lines. The currents in the solid state electrolytes 20 are not accessible to a measurement but result at every location from the linear combination of currents in the feed lines. The total system is viewed as being linearly electrical. Because of the linear combination of the currents at each location, one obtains voltages also at the locations of the electrodes which are linearly dependent upon the feed line currents. The feedback takes place in such a manner that first the factor K1 is increased stepwise until there is an oscillation because of the feedback. Then, the factor K1 is again reduced slightly until just no oscillation occurs. Correspondingly, and if still necessary, one can proceed with the additional factors K2 to K6. In this way, it is ensured that practically all disturbing influences because of the electrode feed lines and because of the resistances between the electrodes are eliminated. These resistances are present in the solid state electrolyte 20 and are disturbing. Additionally, the sliding mean values of the voltages formed by means of electrical circuit elements and/or their derivatives of higher order and/or their sliding mean values or linear combinations thereof can be fed back. The voltages are proportional to the current. In this way, not only ohmic but also capacitive couplings are eliminated.

FIG. 4 shows schematically the coupling matrix. The lines are formed by the currents of the electrodes I_{pump} electrode 7, I_{O2} pump electrode 8 and I_{NO} pump electrode 10. The current of the inner oxygen pump electrode I_{pump} electrode 7 is relatively large compared to the other two and has therefore significant influence on the electrode voltages U_{IPE} or on the pump electrode 7, U_{O2} on the pump electrode 8 and U_{NO} on the pump

electrode 10. The spatial closeness of the oxygen pump
electrode 8 and the NO pump electrode 10 to each other in the
second chamber 2 leads to a pronounced coupling. The components
of the main diagonal of the coupling matrix result from the feed
5 line resistances. Since the matrix is symmetrical, it is
sufficient to consider the compensation factors K_2 , K_3 , K_5
and K_1 , K_4 , K_6 arranged on one side of the main diagonal.